

EVALUACION DE LA CORROSION SUPERFICIAL DE UN AGREGADO CUARCITICO EN UN MEDIO ALCALINO MEDIANTE EL ESTUDIO ESTADISTICO DE IMAGENES DIGITALIZADAS

MARFIL, S. A. *, **, P. J. MAIZA*, *** Y R. C. J. SALOMÓN*

* Universidad Nacional del Sur. Departamento de Geología. San Juan 670.
(8000) Bahía Blanca. Te. 091-595184. FAX: 091-595148.

** Investigador Adjunto CIC

*** Investigador Independiente CONICET

Resumen

Con el propósito de determinar la susceptibilidad de una roca cuarcítica al ataque en medio alcalino, se realizaron ensayos de corrosión sobre las superficies pulidas de las mismas. Se utilizó una solución de NaOH 1 N a 80 °C de temperatura. Los ensayos se realizaron a 24 y 72 horas.

Las muestras atacadas se observaron con un microscopio electrónico de barrido al igual que una muestra natural, que se utilizó como patrón.

Las imágenes obtenidas se procesaron para determinar la luminosidad promedio y se trataron estadísticamente con el propósito de detectar diferencias entre las muestras naturales y las atacadas con la solución alcalina. El test permitió establecer diferencias significativas logrando calcular los volúmenes virtuales a fin de cuantificar la corrosión.

Este método visualiza en forma rápida la susceptibilidad a reaccionar que tiene una roca o agregado frente a los álcalis.

Introducción

Es muy conocido el fenómeno de la RAS en hormigones de cemento portland. Se produce principalmente por la sílice soluble (lábil), movilizada desde los materiales deletéreos como pueden ser ópalo, sílice microcristalina, vidrio volcánico, etc., en un medio fuertemente alcalino como el que se manifiesta durante el proceso de fraguado del hormigón de cemento portland. El grado de deterioro dependerá de la facilidad con que la sílice es solubilizada y de la cantidad de álcalis que se disponga, especialmente del cemento.

El ensayo de las barras de mortero (ASTM C-227), considerado como uno de los más confiables, es muy lento para obtener información completa de la potencial

reactividad de un agregado y en el ASTM 1260-94, es necesario realizar mediciones hasta los 16 días.

Algunos métodos normalizados tales como el químico ASTM C-289 evalúan la sílice disuelta en NaOH y la reducción de la alcalinidad como medida de la reactividad de un agregado.

En un trabajo previo (1) se determinó una directa correlación entre la sílice disuelta en medio alcalino y la expansión medida en barras de mortero ASTM 1260-94. Estas determinaciones están vinculadas con el grado de corrosión que sufre el agregado silíceo, en especial en su superficie.

Se resolvió trabajar sobre superficies perfectamente pulidas y analizar los fenómenos de corrosión que se desarrollan. En esta primera etapa se utilizó una roca monomineral, cuarcita y se realizó el test de corrosión sumergiendo la muestra en una solución de NaOH 1N a 80 °C.

En ensayos previos, se decidió que la evaluación se realizaría luego de un tratamiento de 24 y 72 horas.

El análisis de la superficie de las muestras, permitió apreciar el grado de corrosión que presentan y evaluar las diferencias.

Las superficies se observaron en un microscopio electrónico de barrido y las imágenes digitalizadas se compararon estadísticamente para determinar el grado de alteración.

Estudios previos realizados sobre esta roca cuarcítica la calificaron como potencialmente reactiva. La aplicación de este ensayo, permite arribar a resultados similares en un tiempo relativamente corto. La extrapolación de este ensayo aplicado a otras rocas permitiría disponer de información complementaria acerca de la potencial reactividad de un agregado.

Materiales

Se utilizó una cuarcita de conocida reactividad frente a la RAS. La roca proviene de un yacimiento ubicado en proximidades de la ciudad de Pigué (Partido de Saavedra, Prov. de Buenos Aires). Se explota para su uso como piedra partida.

El estudio petrográfico fue informado en un trabajo previo (2). Está constituida por granos de cuarzo con extinción ondulante, cementados por cuarzo microcristalino. Posee abundante illita, orientada entre los granos de cuarzo, una pequeña cantidad de caolinita en espacios intergranulares y esporádicas venillas de montmorillonita. En algunos sectores se observan fenómenos de policristalinidad, especialmente en el contacto entre los granos de cuarzo donde se desarrolla una textura en mortero.

En un estudio anterior (3) se estudió la reactividad alcalina potencial utilizando: 1) el método de las barras de mortero (ASTM C-227). Se midió una expansión de 0.044 % a los 6 meses y de 0.136 al año y 2) el método de ensayo químico (ASTM C-289), los valores obtenidos fueron $C1 = 30.33$ milimoles/litro y $R = 145$ milimoles/ litro.

Métodos

Se utilizó el programa IMAGE Pro Plus versión 3.01 para calcular las áreas de las secciones virtuales. Este cálculo se realiza tomando los valores de luminosidad de cada punto de la imagen, sobre una misma recta. Estos puntos permiten realizar el cálculo de un área mediante integración numérica. Para el cálculo de los volúmenes se realiza la integración de todas las áreas.

Tratamiento de las muestras

Se tomaron cuatro muestras provenientes de diferentes sectores del yacimiento. Se pulieron hasta lograr una superficie perfectamente espejada. Cada una se dividió en tres partes, una se dejó como patrón, a otra se le aplicó el tratamiento durante 24 horas y a la tercera durante 72 horas.

El tratamiento consistió en sumergir la muestra en una solución de NaOH 1 N a 80 °C. Transcurrido el tiempo de ensayo, se sacaron de la estufa, se lavaron y se observaron al microscopio petrográfico donde se determinó claramente que el ataque más intenso se produjo a las 72 horas.

Luego las muestras fueron estudiadas al microscopio electrónico de barrido. Se trabajó siempre bajo las mismas condiciones de luminosidad, voltaje y con una magnificación x 1000. En cada una de las muestras se realizaron seis observaciones en sectores determinados al azar. De cada uno de ellos se tomó una imagen obteniendo un total de 72 imágenes.

Métodos estadístico

Con el propósito de determinar si el tratamiento efectuado fue efectivo para evaluar la corrosión sufrida por la roca, se realizó un análisis estadístico. Se utilizó el modelo de ANOVA anidado, diseño en bloques, lo que permite determinar si existen diferencias entre las imágenes de las muestras naturales y de las sometidas al test de corrosión.

En este modelo los datos corresponden al valor medio de luminosidad de la imagen, realizado promediando la luminosidad de cada pixel. Las imágenes tienen una resolución de 512 x 400 lo que equivale a 204.800 puntos. Se evaluó si existen diferencias entre los promedios de esos puntos para cada tratamiento, lo que de resultar positivo permitirá evaluar el desarrollo de la corrosión mediante el estudio de las imágenes.

Para ello se calcula un volumen virtual, donde se toma como eje Z el valor de luminosidad de cada punto en la imagen, siendo directamente proporcional al grado de corrosión ya que en la medida que esta última aumenta, los valores de luminosidad también se incrementan (mayor valor de Z).

Para el cálculo se barren perfiles longitudinales (400 perfiles por muestra). Se calcula el área de cada uno como la integración numérica. Luego se vuelven a integrar estas áreas y se determinan los volúmenes.

Resultados

Estudio Estadístico

Para el análisis estadístico por el método ANOVA anidado diseño en bloques, se trabajó con los datos de la Tabla N° 1.

TABLA N° 1

Valores de luminosidad obtenidos a partir de las imágenes de SEM

Muestra N°	Luminosidad promedio		
	Natural	24 horas	72 horas
1a	7825740.996	7714479.186	8892823.726
1b	8235530.191	7241731.102	8959333.036
1c	6816286.836	7927261.073	9182396.982
1d	7877806.454	6961814.976	8730206.156
1e	9704151.706	7667010.886	9572761.145
1f	6530575.272	6801623.799	9275173.875
Media	7831681.909	7385653.504	9102115.820
Varianza	$1.279 \cdot 10^{14}$	$2.044 \cdot 10^{11}$	$9.208 \cdot 10^{10}$
2a	7808766.531	6244554.982	9257548.572
2b	8002408.694	8605398.005	8800172.309
2c	7420224.170	7448775.055	7680378.329
2d	6461493.264	7599227.921	7421104.791
2e	6520555.653	6476115.034	900682.079
2f	6345775.007	6822474.798	6574843.812
Media	7093203.887	7199424.299	7790151.649
Varianza	$5.46 \cdot 10^{11}$	$7.552 \cdot 10^{11}$	$1.248 \cdot 10^{14}$
3a	6317964.211	5906235.316	7042699.561
3b	6404984.531	7584135.641	8638187.831
3c	7011069.133	5152816.932	9170611.544
3d	6645215.077	5804278.732	10378320.960
3e	6185241.051	5804024.338	8730116.339
3f	6449292.004	6871156.696	9495632.959
Media	6502297.668	6153774.609	8908928.199
Varianza	$8.521 \cdot 10^{10}$	$7.243 \cdot 10^{11}$	$1.232 \cdot 10^{14}$
4a	8364914.310	6337268.574	7351649.341
4b	9119072.034	7555279.448	7313578.546
4c	7451624.265	7050647.018	7668839.942
4d	6888586.211	6604691.961	9347644.576
4e	6869814.646	5973521.835	7845250.060
4f	7299124.893	8234827.095	7103933.645
Media	7665522.727	6959372.655	7771816.018
Varianza	$8.037 \cdot 10^{11}$	$6.950 \cdot 10^{11}$	$6.664 \cdot 10^{11}$

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados SC	Grados de libertad gl	Cuadrados medios CM	F
Muestras	$8.67251 \cdot 10^{14}$	3	$2.89084 \cdot 10^{12}$	1.4109265
Tratamientos	$2.82654 \cdot 10^{13}$	2	$1.41327 \cdot 10^{13}$	6.8977314
Residual	$1.22934 \cdot 10^{13}$	6	$2.04869 \cdot 10^{12}$	2.9510476
Dentro	$4.16576 \cdot 10^{13}$	60	$6.94293 \cdot 10^{11}$	
Total	$9.08869 \cdot 10^{14}$	71		

Tabla de ANOVA

Se trabajó con el cociente entre el cuadrado medio entre tratamientos y el cuadrado medio residual: $F = 6.8977314$. Este valor se comparó con el de la tabla de distribución $F(2,6) = 5.1432$ con un nivel de significación del 5 %. Esto implica que existen diferencias significativas entre las imágenes de las muestras naturales, tratadas a 24 y 72 horas.

Luego se procedió al cálculo de los volúmenes por integración de las áreas virtuales. Se determinaron los siguientes valores:

24 Horas	Muestra Natural	72 horas
2.23981.1012	2.670044.1012	3.72618.1012

Dado que las imágenes de las muestras atacadas tienen puntos que poseen mayor luminosidad, esto hace que las áreas sean mayores y por consiguiente se va a observar un incremento en sus volúmenes virtuales.

Cuanto mayor es el volumen mayor será la corrosión sufrida por la superficie.

En la figura 1 se muestra un perfil elegido al azar de una muestra natural (1a), a las 24 horas (1b) y a las 72 horas de tratamiento (1c). La escala vertical representa la luminosidad de la imagen de SEM en cada punto del perfil. Se puede observar un incremento del valor medio desde 1a a 1c. Las áreas determinadas son: 51.291; 62.449 y 72.764 respectivamente. La mayor área indica que la muestra ha sufrido mayor corrosión.

En la figura 2 (2a, 2b y 2c) se muestran las imágenes de SEM correspondientes a los perfiles de la figura anterior. Se observa claramente la corrosión sufrida por la roca sobre todo a las 72 hs de tratamiento.

Las zonas más afectadas por la lixiviación quedan manifestadas en el perfil de la figura 1c por la agudeza de los picos (áreas de menor luminosidad).

Fig. 1: Perfil característico de una sección obtenida de la imagen de la superficie de la roca cuarcítica. 1a: muestra natural, 1b: luego de 24 horas en NaOH 1N a 80°C; 1c: a las 72 hs.

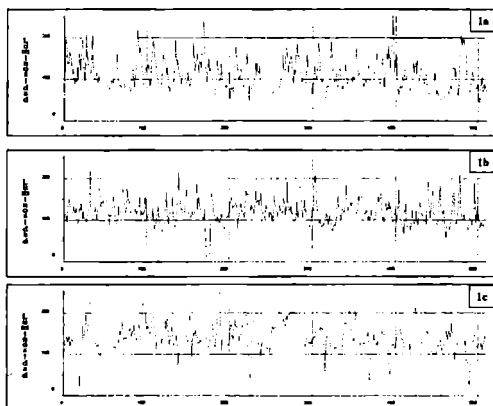


Fig. 2: Foto micrografías de la SEM de la roca cuarcítica (1a: muestra natural; 1b: 24 hs. de tratamiento; 1c: 72 hs.)



2a

2b

2c

Conclusiones

1. La roca cuarcítica estudiada es susceptible a degradarse en medio alcalino.
2. La corrosión se manifiesta principalmente en las zonas de contacto entre los granos de cuarzo, constituidas por cuarzo microcristalino.
3. El estudio a partir de imágenes digitalizadas permite visualizar el grado de deterioro sufrido por la superficie de la roca.
4. El cálculo del volumen virtual hace posible cuantificar este fenómeno.
5. Se prevé evaluar el comportamiento de otros agregados para establecer la efectividad del método propuesto y especialmente su confiabilidad.

Agradecimientos

A La CIC de la Prov. de Bs. As., al CONICET y a la UNS por el apoyo brindado.

Referencias

1. S. A. Marfil; P. J. Maiza, A. L. Bengochea, J. D. Sota and O. R. Batic, in "Relationship between SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O and expansion in the determination of the alkali reactivity of basaltic rocks". Cement and Concrete Research. USA. Vol. 28. Nº 2, pp. 189-196. (1998).
2. P. J. Maiza y S. A. Marfil, in "Principales yacimientos de arena, canto rodado y piedra partida, utilizados en la construcción en la zona de Bahía Blanca, Prov. de Buenos Aires". Primer Seminario de Tecnología del Hormigón en la Vivienda del Mercosur. Memorias. Santa Fe. 253-264. (1997).
3. S. A. Marfil y P. J. Maiza, in "Los agregados gruesos utilizados en la zona de Bahía Blanca (Prov. de Bs. As.) en relación con la reacción álcali-agregado". Congreso Internacional de Ingeniería Estructural y Tecnología del Hormigón. Memorias. Tomo I. Córdoba. 1-10. (1993).